

## Verfahren zur Plasmareinigung eines Bauteils

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Plasmareinigung  
5 eines Bauteils gemäß Anspruch 1.

Oberflächen von Bauteilen müssen für die Anwendung oder in  
Zwischenschritten verschiedener Verfahren oft von  
Verunreinigungen gereinigt werden. Die Verunreinigen können  
10 Staubkörner, Öl oder Fettsfilme oder auch Korrosionsprodukte  
auf der Oberfläche des Bauteils sein.

Als Stand der Technik sind einfache Verfahren des Wischens  
oder des Trockeneisstrahlens bekannt.  
15 Wenn jedoch eine Vertiefung oder ein Riss gereinigt werden  
soll, so müssen aufwändigere Verfahren angewendet werden.  
Dies geschieht beispielsweise durch Fluorid-Ionen-Reinigung  
(FIC), Wasserstoffglühung oder Salzbadreinigung. Bei diesen  
Prozessen, die erheblichen apparativen Aufwand bedeuten,  
20 werden auch die nicht zu reinigenden Flächen teilweise  
erheblich beeinträchtigt.

Plasma-gestützte Vakuumätzprozesse von Bauteilen innerhalb  
bekannter PVD- oder CVD-Beschichtungsverfahren unmittelbar  
25 vor der Dampfabcheidung sind bekannt. Grundprinzip dieser  
Oberflächenbehandlung ist das Zerstäuben oder auch Sputtern  
anhaftender Verunreinigungen und der oberen Atomlagen des zu  
entfernenden Werkstoffes zu Partikeln in atomarer  
Größenordnung durch den Beschuss mit Inertgasionen. Die sehr  
30 fein zerstäubte Verunreinigung ist quasi in die Gasphase  
übergetreten und kann abgesaugt werden.  
Solche Plasmen können durch die Kopplung geeigneter  
Elektrodenanordnungen mit Hochspannungs-Hochfrequenz-  
Generatoren erreicht werden. Diese Verfahren werden jedoch  
35 nur zur Reinigung ebener Flächen angewendet.

Die EP 0 313 855 A2 offenbart ein Verfahren zur Erzeugung eines Gasplasmas, bei dem die Spannung auf einem bestimmten Wert kontrolliert wird.

- 5 Die EP 0 740 989 A2 offenbart eine Methode zum Reinigen von einer Vulkanisierform, bei der ein Plasmastrom erzeugt wird.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung ein Verfahren aufzuzeigen, mit dem ein Riss einfacher und schneller von Verunreinigungen  
10 gereinigt werden kann, ohne dass andere Bereiche des Bauteils beeinträchtigt werden.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Plasmareinigung gemäß Anspruch 1.

15

In den Unteransprüchen sind weitere vorteilhafte Verfahrensschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens aufgelistet.

Die in den Unteransprüchen aufgelisteten Maßnahmen können in  
20 vorteilhafter Art und Weise miteinander kombiniert werden.

Es zeigen

- |            |   |
|------------|---|
| Figur 1, 2 | Vorrichtungen, um das erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen, |
| 25 Figur 3 | eine Turbinenschaufel,  |
| Figur 4    | eine Brennkammer und  |
| Figur 5    | eine Gasturbine.  |

30 Figur 1 zeigt eine beispielhafte Vorrichtung 25 um das erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen. Sie besteht aus einer Kammer 13, in der ein Vakuum  $p$  herrscht. Das Vakuum  $p$  wird durch eine Pumpe 16 erzeugt, die an die Kammer 13 angeschlossen ist.

35 In der Kammer 13 ist ein Bauteil 1 vorhanden, das einen Riss 4 ausgehend von einer Oberfläche 22 aufweist.

Ebenso ist eine Elektrode 10 oberhalb der Oberfläche 22 eines Bauteils 1 angeordnet, um ein Plasma 7 zu initiieren und aufrechtzuerhalten.

Diese Elektrode 10 weist einen bestimmten Abstand  $d$  zur  
5 Oberfläche 22 des Bauteils 1 auf.

Für die Aufrechterhaltung eines Plasmas 7 gilt die Bedingung, dass das Produkt aus Abstand mal Druck konstant ist ( $d \times p = \text{const.}$ ).

Da der Riss 4 eine bestimmte Tiefe  $t$  bis zur Rissspitze 34  
10 aufweist, wird die Innenfläche 28 des Risses 4 nicht vollständig von dem Plasma 7 erfasst, da der Abstand der Elektrode 10 zu der äußeren Oberfläche 22 des Bauteils 1 und der Abstand bis zur Rissspitze 34 des Risses 4 verschieden sind.

15 Daher wird beispielsweise der Abstand  $d$  der Elektrode 10 zu der Oberfläche 22 variiert, so dass das Plasma 7 von der Rissspitze zur Oberfläche 22 oder von der Oberfläche 22 des Bauteils 1 zur Rissspitze 37 des Risses 4 wandert.

So kann der Abstand  $d$ , insbesondere stetig, erniedrigt  
20 werden, so dass das Plasma 7 von der Oberfläche 22 in den Riss 4 hineinwandert.

Ebenso kann in der Kammer 13 ein Reaktivgas 31 vorhanden sein, das beispielsweise mit einem Korrosionsprodukt in dem  
25 Riss 4 reagiert und so eine Reinigung des Risses 4 fördert.

Das Bauteil 1 kann metallisch oder keramisch sein.

Insbesondere ist das Bauteil 1 eine eisen-, kobalt- oder nickel-basierte Superlegierung, die beispielsweise zur  
30 Herstellung einer Turbinenschaufel 12, 130 (Fig. 3, 5) oder Brennkammerauskleidung 155 (Fig. 4) einer Turbine 100 (Fig. 5) dient. Weitere Bauteile einer Gas- oder Dampfturbine können mit diesem Verfahren gereinigt werden. Risse 4 in dem Bauteil 1 können bereits direkt nach dem Herstellen vorhanden  
35 sein oder haben sich nach dem betrieblichen Einsatz des Bauteils 1 gebildet.

Solche abgenutzten Bauteile 1, 120, 130, 155 werden oft wieder aufgearbeitet (Refurbishment). Dabei werden von der Oberfläche 22 Korrosionsprodukte entfernt. Korrosionsprodukte in dem Riss 4 lassen sich schwieriger entfernen.

- 5 Nachdem der Riss 4 mit dem erfindungsgemäßen Verfahren gereinigt worden ist, kann der Riss 4 zugeschweißt oder zugelötet werden, da das Lot sehr gut auf einer gereinigten Oberfläche haften kann.

Figur 2 zeigt eine weitere Vorrichtung 25' mit der das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt werden kann.

- Die Vorrichtung 25' weist eine Steuerungseinheit 19 auf, die den Druck  $p$  in der Kammer 13 regelt. Da für die
- 5 Aufrechterhaltung eines Plasmas 7 die Bedingung "Abstand mal Druck gleich konstant" gilt, kann auch der Druck  $p$  variiert werden, um bei einem festen Abstand  $d$  zwischen von Elektrode 10 und Oberfläche 22 ein Plasma 7 in dem Riss 4 zu initiieren und aufrechtzuerhalten. Durch beispielsweise stetige
- 10 Erniedrigung des Drucks  $p$  wandert das Plasma 7 immer tiefer bis zur Rissspitze 34 des Risses 4.

- Ebenso kann in der Kammer 13 ein Reaktivgas 31 vorhanden sein, das beispielsweise mit einem Korrosionsprodukt in dem
- 15 Riss 4 reagiert und so eine Reinigung des Risses 4 fördert.

- Eine weitere Möglichkeit besteht darin, gleichzeitig Druck und Abstand so zu variieren, dass das Plasma 7
- 20 aufrechterhalten wird, wobei aber die Bedingung für die Aufrechterhaltung eines Plasmas 7 (Abstand mal Druck gleich konstant) eingehalten wird.
- Der Abstand  $d$  und der Druck  $p$  können gleichzeitig oder abwechselnd variiert werden.

- 25 In der Kammer 13 kann ein Inertgas vorhanden sein (Ar, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>...)

- Figur 3 zeigt in perspektivischer Ansicht eine Schaufel 120,
- 30 130, die sich entlang einer Längsachse 121 erstreckt.

- Die Schaufel 120 kann zur Plasmaerzeugung eine Laufschaufel 120 oder Leitschaufel 130 einer Strömungsmaschine sein. Die Strömungsmaschine kann eine Gasturbine eines Flugzeugs oder
- 35 eines Kraftwerks zur Elektrizitätserzeugung, eine Dampfturbine oder ein Kompressor sein.

Die Schaufel 120, 130 weist entlang der Längsachse 121 aufeinander folgend einen Befestigungsbereich 400, eine daran angrenzende Schaufelplattform 403 sowie ein Schaufelblatt 406 auf.

- 5 Als Leitschaufel 130 kann die Schaufel an ihrer Schaufelspitze 415 eine weitere Plattform aufweisen (nicht dargestellt).

- 10 Im Befestigungsbereich 400 ist ein Schaufelfuß 183 gebildet, der zur Befestigung der Laufschaufeln 120, 130 an einer Welle oder einer Scheibe dient (nicht dargestellt).

Der Schaufelfuß 183 ist bspw. als Hammerkopf ausgestaltet. Andere Ausgestaltungen als Tannenbaum- oder Schwalbenschwanzfuß sind möglich.

- 15 Die Schaufel 120, 130 weist für ein Medium, das an dem Schaufelblatt 406 vorbeiströmt, eine Anströmkante 409 und eine Abströmkante 412 auf.

- Bei herkömmlichen Schaufeln 120, 130 werden in allen  
20 Bereichen 400, 403, 406 der Schaufel 120, 130 bspw. massive metallische Werkstoffe verwendet.  
Die Schaufel 120, 130 kann hierbei durch ein Gussverfahren, auch mittels gerichteter Erstarrung, durch ein Schmiedeverfahren, durch ein Fräsverfahren oder Kombinationen  
25 daraus gefertigt sein.

- Werkstücke mit einkristalliner Struktur oder Strukturen werden als Bauteile für Maschinen eingesetzt, die im Betrieb hohen mechanischen, thermischen und/oder chemischen  
30 Belastungen ausgesetzt sind.  
Die Fertigung von derartigen einkristallinen Werkstücken erfolgt z.B. durch gerichtetes Erstarren aus der Schmelze. Es handelt sich dabei um Gießverfahren, bei denen die flüssige metallische Legierung zur einkristallinen Struktur, d.h. zum  
35 einkristallinen Werkstück, oder gerichtet erstarrt.  
Dabei werden dendritische Kristalle entlang dem Wärmefluss ausgerichtet und bilden entweder eine stängelkristalline

Kornstruktur (kolumnar, d.h. Körner, die über die ganze Länge des Werkstückes verlaufen und hier, dem allgemeinen Sprachgebrauch nach, als gerichtet erstarrt bezeichnet werden) oder eine einkristalline Struktur, d.h. das ganze  
5 Werkstück besteht aus einem einzigen Kristall. In diesen Verfahren muss man den Übergang zur globulitischen (polykristallinen) Erstarrung meiden, da sich durch ungerichtetes Wachstum notwendigerweise transversale und longitudinale Korngrenzen ausbilden, welche die guten  
10 Eigenschaften des gerichtet erstarrten oder einkristallinen Bauteiles zunichte machen.

Ist allgemein von gerichtet erstarrten Gefügen die Rede, so sind damit sowohl Einkristalle gemeint, die keine Korngrenzen  
15 oder höchstens Kleinwinkelkorngrenzen aufweisen, als auch Stängelkristallstrukturen, die wohl in longitudinaler Richtung verlaufende Korngrenzen, aber keine transversalen Korngrenzen aufweisen. Bei diesen zweitgenannten kristallinen Strukturen spricht man auch von gerichtet erstarrten Gefügen  
20 (directionally solidified structures).

Solche Verfahren sind aus der US-PS 6,024,792 und der EP 0 892 090 A1 bekannt.

25 Wiederaufarbeitung (Refurbishment) bedeutet, dass Bauteile 120, 130 nach ihrem Einsatz gegebenenfalls von Schutzschichten befreit werden müssen (z.B. durch Sandstrahlen). Danach erfolgt eine Entfernung der Korrosions- und/oder Oxidationsschichten bzw. -produkte. Gegebenenfalls  
30 werden auch noch Risse im Bauteil 120, 130 repariert. Danach erfolgt eine Wiederbeschichtung des Bauteils 120, 130 und ein erneuter Einsatz des Bauteils 120, 130.

Die Schaufel 120, 130 kann hohl oder massiv ausgeführt sein.  
35 Wenn die Schaufel 120, 130 gekühlt werden soll, ist sie hohl und weist ggf. noch Filmkühllöcher (nicht dargestellt) auf.

Als Schutz gegen Korrosion weist die Schaufel 120, 130 bspw. entsprechende meistens metallische Beschichtungen auf und als Schutz gegen Wärme meistens noch eine keramische Beschichtung.

5

Die Figur 4 zeigt eine Brennkammer 110 einer Gasturbine. Die Brennkammer 110 ist beispielsweise als so genannte Ringbrennkammer ausgestaltet, bei der eine Vielzahl von in  
10 Umfangsrichtung um die Turbinenwelle 103 herum angeordneten Brennern 102 in einen gemeinsamen Brennkammerraum münden. Dazu ist die Brennkammer 110 in ihrer Gesamtheit als ringförmige Struktur ausgestaltet, die um die Turbinenwelle 103 herum positioniert ist.

15

Zur Erzielung eines vergleichsweise hohen Wirkungsgrades ist die Brennkammer 110 für eine vergleichsweise hohe Temperatur des Arbeitsmediums M von etwa 1000°C bis 1600°C ausgelegt. Um  
20 auch bei diesen, für die Materialien ungünstigen Betriebsparametern eine vergleichsweise lange Betriebsdauer zu ermöglichen, ist die Brennkammerwand 153 auf ihrer dem Arbeitsmedium M zugewandten Seite mit einer aus Hitzeschildelementen 155 gebildeten Innenauskleidung versehen. Jedes Hitzeschildelement 155 ist  
25 arbeitsmediumsseitig mit einer besonders hitzebeständigen Schutzschicht ausgestattet oder aus hochtemperaturbeständigem Material gefertigt. Aufgrund der hohen Temperaturen im Inneren der Brennkammer 110 ist zudem für die Hitzeschildelemente 155 bzw. für deren Halteelemente ein  
30 Kühlsystem vorgesehen.

Die Materialien der Brennkammerwand und deren Beschichtungen können ähnlich der Turbinenschaufeln sein.

35 Die Brennkammer 110 ist insbesondere für eine Detektion von Verlusten der Hitzeschildelemente 155 ausgelegt. Dazu ist



zwischen der Brennkammerwand 153 und den Hitzeschildelementen 155 eine Anzahl von Temperatursensoren 158 positioniert.

- 5 Die Figur 5 zeigt beispielhaft eine Gasturbine 100 in einem Längsteilschnitt.  
Die Gasturbine 100 weist im Inneren einen um eine Rotationsachse 102 drehgelagerten Rotor 103 auf, der auch als Turbinenläufer bezeichnet wird.
- 10 Entlang des Rotors 103 folgen aufeinander ein Ansauggehäuse 104, ein Verdichter 105, eine beispielsweise torusartige Brennkammer 110, insbesondere Ringbrennkammer 106, mit mehreren koaxial angeordneten Brennern 107, eine Turbine 108 und das Abgasgehäuse 109.
- 15 Die Ringbrennkammer 106 kommuniziert mit einem beispielsweise ringförmigen Heißgaskanal 111. Dort bilden beispielsweise vier hintereinandergeschaltete Turbinenstufen 112 die Turbine 108.  
Jede Turbinenstufe 112 ist bspw. aus zwei Schaufelringen  
20 gebildet. In Strömungsrichtung eines Arbeitsmediums 113 gesehen folgt im Heißgaskanal 111 einer Leitschaufelreihe 115 eine aus Laufschaufeln 120 gebildete Reihe 125.
- Die Leitschaufeln 130 sind dabei an einem Innengehäuse 138  
25 eines Stators 143 befestigt, wohingegen die Laufschaufeln 120 einer Reihe 125 bspw. mittels einer Turbinenscheibe 133 am Rotor 103 angebracht sind.  
An dem Rotor 103 angekoppelt ist ein Generator oder eine Arbeitsmaschine (nicht dargestellt).
- 30 Während des Betriebes der Gasturbine 100 wird vom Verdichter 105 durch das Ansauggehäuse 104 Luft 135 angesaugt und verdichtet. Die am turbinenseitigen Ende des Verdichters 105 bereitgestellte verdichtete Luft wird zu den Brennern 107  
35 geführt und dort mit einem Brennmittel vermischt. Das Gemisch wird dann unter Bildung des Arbeitsmediums 113 in der Brennkammer 110 verbrannt. Von dort aus strömt das

Arbeitsmedium 113 entlang des Heißgaskanals 111 vorbei an den Leitschaufeln 130 und den Laufschaufeln 120. An den Laufschaufeln 120 entspannt sich das Arbeitsmedium 113 impulsübertragend, so dass die Laufschaufeln 120 den Rotor 103 antreiben und dieser die an ihn angekoppelte Arbeitsmaschine.

Die dem heißen Arbeitsmedium 113 ausgesetzten Bauteile unterliegen während des Betriebes der Gasturbine 100 thermischen Belastungen. Die Leitschaufeln 130 und Laufschaufeln 120 der in Strömungsrichtung des Arbeitsmediums 113 gesehen ersten Turbinenstufe 112 werden neben den die Ringbrennkammer 106 auskleidenden Hitzeschildsteinen am meisten thermisch belastet.

Um den dort herrschenden Temperaturen standzuhalten, können diese mittels eines Kühlmittels gekühlt werden. Ebenso können Substrate der Bauteile eine gerichtete Struktur aufweisen, d.h. sie sind einkristallin (SX-Struktur) oder weisen nur längsgerichtete Körner auf (DS-Struktur).

Als Material für die Bauteile, insbesondere für die Turbinenschaufel 120, 130 und Bauteile der Brennkammer 110 werden bspw. eisen-, nickel- oder kobaltbasierte Superlegierungen verwendet.

Solche Superlegierungen sind bspw. aus der EP 1204776, EP 1306454, EP 1319729, WO 99/67435 oder WO 00/44949 bekannt; diese Schriften sind Teil der Offenbarung.

Ebenso können die Schaufeln 120, 130 Beschichtungen gegen Korrosion (MCrAlX; M ist zumindest ein Element der Gruppe Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni), X ist ein Aktivelement und steht für Yttrium (Y) und/oder Silizium und/oder zumindest ein Element der Seltenen Erden) und Wärme durch eine Wärmedämmschicht aufweisen.

Die Wärmedämmschicht besteht beispielsweise  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3$ - $ZrO_2$ , d.h. sie ist nicht, teilweise oder vollständig stabilisiert durch Yttriumoxid und/oder Kalziumoxid und/oder Magnesiumoxid.

Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmschicht erzeugt.

- 5 Die Leitschaufel 130 weist einen dem Innengehäuse 138 der Turbine 108 zugewandten Leitschaufelfuß (hier nicht dargestellt) und einen dem Leitschaufelfuß gegenüberliegenden Leitschaufelkopf auf. Der Leitschaufelkopf ist dem Rotor 103 zugewandt und an einem Befestigungsring 140 des Stators 143  
10 festgelegt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Plasmareinigung eines Bauteils (1),  
wobei das Bauteil (1) in einer Kammer (13) mit einer  
5 Elektrode (10) zur Initiierung eines Plasmas (7)  
angeordnet ist,  
wobei bestimmte Parameter (p, d) des Plasmas einzuhalten  
sind, um das Plasma (7) aufrechtzuerhalten,  
wobei zumindest ein Parameter (p, d) variiert wird,  
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
  
ein Riss (4),  
der von der Oberfläche (22) des Bauteils (1) ausgeht,  
15 gereinigt wird, wobei entweder  
• in der Kammer (13) ein konstanter Druck (p) herrscht und  
ein Abstand (d) der Elektrode (10) zu der Oberfläche (22)  
in Abhängigkeit der Risstiefe (t) des Risses (4) variiert  
wird,  
20 oder  
• der Abstand (d) einer Elektrode (10) zur Initiierung  
eines Plasmas (7) zu der Oberfläche (22) des Bauteils (1)  
konstant gehalten wird und der Druck (p) der Kammer (13)  
variiert wird,  
25 oder  
• sowohl der Abstand (d) einer Elektrode (10) zu der  
Oberfläche (22) des Bauteils (1),  
als auch den Druck (p) innerhalb der Kammer (13) variiert  
wird,  
30 wobei das Produkt aus Abstand (d) und Druck (p) konstant  
bleibt.

35

2. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

5 der Abstand (d) der Elektrode (10) zur Oberfläche (22) des Bauteils (1), insbesondere stetig, erniedrigt wird, um eine Plasmareinigung in dem Riss (4) zu erzielen.

3. Verfahren nach Anspruch 1,

10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

der Druck (p), insbesondere stetig, erniedrigt wird, um das Plasma (7), ausgehend von der Oberfläche (22), um eine Plasmareinigung in dem Riss (4) zu erzielen.

15

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

20 dass das Bauteil (1) in einer Kammer (13) angeordnet ist, und dass der Kammer (13) ein Reaktivgas (31) zugeführt wird,

das mit einem zu entfernenden Produkt in dem Riss (4) reagiert..

25

5. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

30 das Bauteil (1) eine Turbinenschaufel (120, 130), eine Brennkammerwand (155) oder ein anderes Gehäuseteil einer Strömungsmaschine, insbesondere einer Turbine (100), insbesondere einer Gasturbine, ist.

35

6. Verfahren nach Anspruch 1 oder 5,  
dadurch gekennzeichnet, dass
- 5
- das Bauteil (1) ein wieder aufzuarbeitendes Bauteil (1)  
ist.

1 / 4

FIG 1

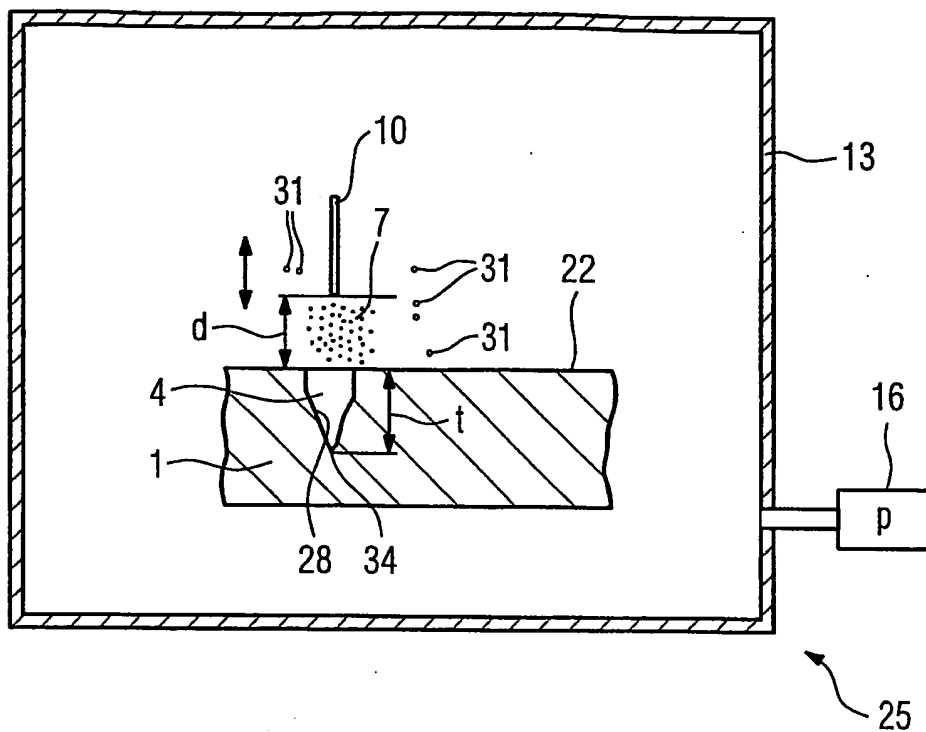


FIG 2

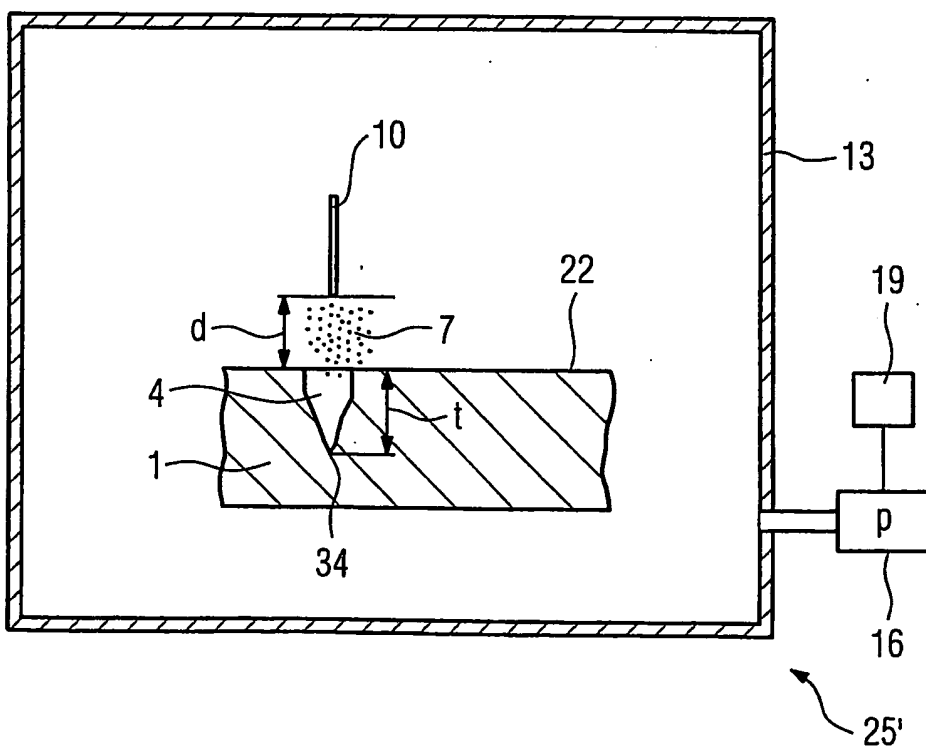


FIG 3

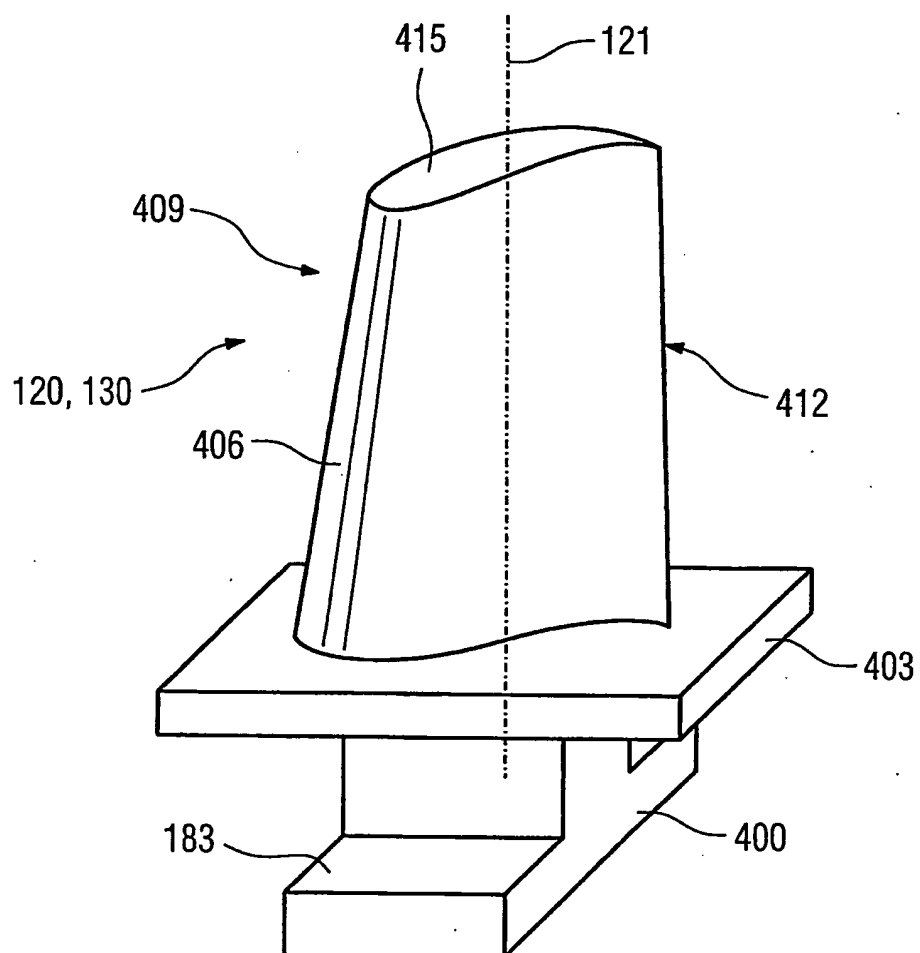






FIG 5

